

水プラズマを使った宇宙探査機の新しい滅菌技術

ポイント

- ① 火星などの着陸探査では、地球由来の微生物を持ち込まないため、宇宙探査機表面の確実な滅菌（※1）が必要です。しかし、高温や薬剤を用いる従来法には、宇宙機材料の損傷や薬剤残留、真空下での使用にあたっての課題があります。
- ② 本研究では、水を原料とする低圧高周波水プラズマ（※2）の滅菌性能と材料適合性を評価しました。その結果、水プラズマ中の OH ラジカル（※3）が極限環境微生物（※4）に対して不活化が可能である一方、宇宙探査機の素材であるポリイミドフィルム（※5）への影響を比較的抑えられることを明らかにしました。
- ③ 本成果は、火星探査機や惑星表面に接触する機器の低温滅菌への応用が期待されます。今後、大型装置での均一なプラズマ生成技術を確立することで、安全で環境負荷の小さい宇宙機滅菌法の実用化が期待されます。

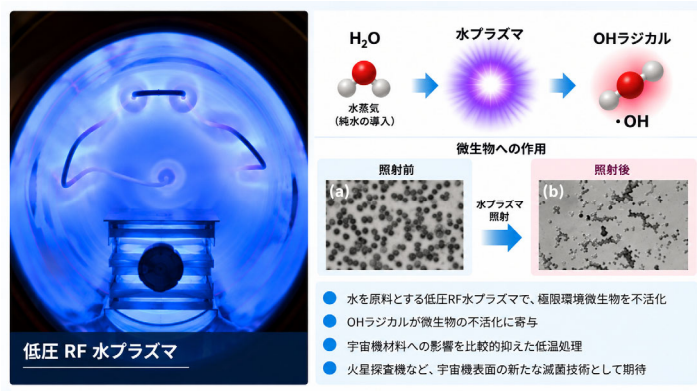
概要

今後、宇宙探査の研究がさらに進む中で、探査機に付着した微生物が他の惑星に持ち込まれ、その惑星の環境や生命探査に影響を与える可能性があります。そのため、宇宙探査機を構成する素材を傷めず、宇宙空間のような極限環境に耐性を持つ微生物を確実に不活化できる滅菌技術が求められています。

本研究では、液体の水を原料とした低圧高周波水プラズマが、微生物の表面構造や生体分子を損傷することで、高い滅菌効果を示すことを明らかにしました。

九州大学大学院総合理工学研究院の林信哉教授および大学院総合理工学府博士後期課程の山中綺良々らの研究グループは、低圧高周波水プラズマを用いて、耐熱性芽胞と放射線耐性菌の不活化効果を調べました。水プラズマは耐熱性芽胞の菌数を 60 分で 6 桁以上減少させ、酸素プラズマより短時間で高い滅菌効果を示しました。また、水プラズマ中の OH ラジカルがタンパク質やアミノ酸を酸化・分解し、菌を不活化している可能性を明らかにしました。さらに、宇宙探査機に使用されるポリイミドフィルムへの影響は、従来より研究がなされてきた酸素を用いたプラズマより小さく、材料への負荷を抑えた滅菌法としての可能性が示されました。本成果は、宇宙探査機の外部表面や惑星環境に接触する機器に適用できる、材料への負荷が小さい滅菌技術の開発につながることを期待されます。

本研究成果は、英国の科学雑誌「Scientific Reports」（速報版）に 2026 年 8 月 4 日（日本時間）に掲載されました。



研究者からひとこと：

水を原料としたプラズマで、微生物を効果的に不活化しながら、宇宙探査機に使われる材料への影響を抑えられる可能性を示すことができました。宇宙探査がさらに活発になる中で、微生物を他の天体へ持ち込まないための技術は、生命探査の信頼性を守るうえでも重要です。今後は、水プラズマが微生物を不活化する仕組みをさらに詳しく明らかにし、実際の宇宙探査機にも応用できる滅菌技術へと発展させていきたいと考えています。（山中綺良々）

【研究の背景と経緯】

宇宙探査では、探査機に付着した地球由来の微生物を他の天体へ持ち込む「前方汚染」と、地球外由来の物質や微生物によって地球環境が影響を受ける「後方汚染」の両方を防ぐ必要があります。特に、着陸探査やサンプルリターンなどの研究の拡大に伴い、宇宙機に付着する微生物を確実に低減する技術の重要性が高まっています。

従来の乾熱処理や薬剤による除染には、電子部品や高分子材料への影響、薬剤の残留、高抵抗性微生物に対する効果などの課題があります。そこで本研究では、液体の水を原料とし、低温で処理できる低压高周波水プラズマに着目し、水プラズマ中の活性種の生成、微生物の不活化性能とそのメカニズムの考察、宇宙探査機に使用される素材への影響を評価しました。

【研究の内容と成果】

水プラズマ中では、反応性の高いOHラジカルが生成され、滅菌処理対象物まで到達することを確認しました。また、水プラズマは耐熱性芽胞や放射線耐性菌などの高抵抗性微生物を不活化し、さらに、耐熱性芽胞に対しては酸素プラズマより短時間で高い滅菌効果を示しました。さらに、水プラズマが微生物表面のタンパク質性構造を酸化・分解することが、不活化に関与している可能性が明らかとなりました。一方、宇宙探査機の素材であるポリイミドフィルムへの影響は酸素プラズマより小さく、滅菌効果と材料適合性を両立できる可能性が示されました。

【今後の展開】

今後は、DNAやタンパク質に生じる損傷を詳しく解析し、水プラズマによる微生物不活化のメカニズムを明らかにします。また、装置の大型化や処理の均一化を進め、宇宙探査機の外部表面や惑星環境に接触する機器への応用を目指します。

さらに将来的には、サンプルリターン容器や回収機器などへの適用可能性を検討し、前方汚染だけでなく後方汚染の防止にも貢献できる惑星保護技術への展開が期待されます。

【参考図】

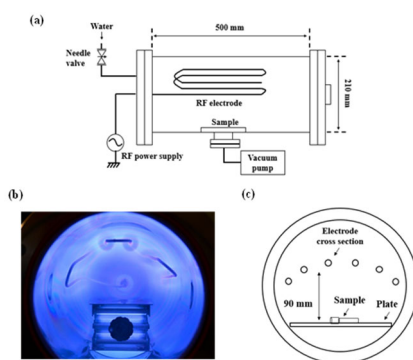


図1 水プラズマ滅菌装置の概略図

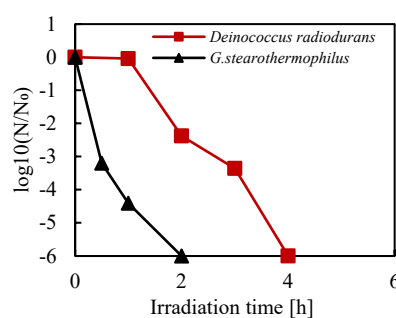
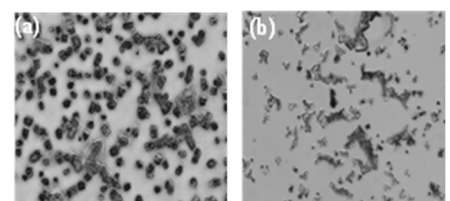


図2 水プラズマ照射時間に対する好熱性芽胞および放射線耐性菌の不活化の依存性



水プラズマ照射前 水プラズマ照射後

図3 水プラズマ照射前後の放射線耐性菌の光学顕微鏡画像

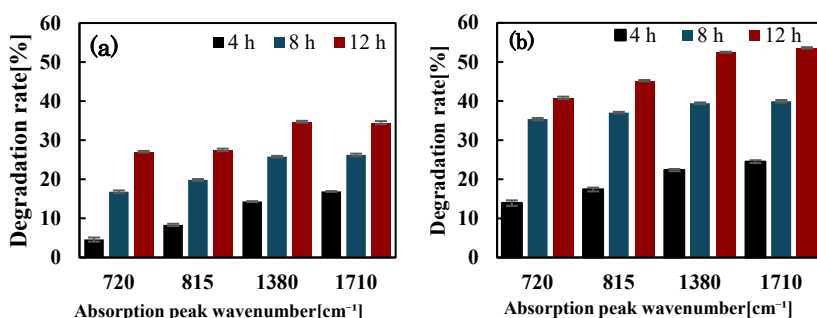


図4 (a) 水プラズマ照射時間に対するポリイミドフィルムの分解率の変化、
(b) 酸素プラズマ照射時間に対するポリイミドフィルムの分解率の変化

【用語解説】

(※1) 滅菌

・・・細菌、真菌、ウイルス、芽胞などを含む、すべての増殖可能な微生物を死滅または不活化し、試料や物品に生きた微生物が存在しない状態にするための処理です。

(※2) プラズマ

・・・気体にエネルギーを加えることで、電子やイオン、ラジカルなどが存在する状態になったものです。生成された活性種を利用して、微生物の不活化や物質表面の処理を行うことができます。

(※3) OH ラジカル

・・・水分子から生成される、非常に反応性の高い活性種です。細菌を構成するタンパク質や DNAなどを酸化・分解することで、微生物の不活化に関与すると考えられています。

(※4) 極限環境微生物

・・・高温、乾燥、放射線、真空など、通常の生物にとって厳しい環境でも生存できる微生物です。本研究では、高熱に強い芽胞や放射線に強い細菌を対象としています。

(※5) ポリイミドフィルム

・・・耐熱性、絶縁性、耐放射線性に優れた高性能プラスチックフィルムです。人工衛星や宇宙探査機の断熱材、電気絶縁材などに広く使用されています。

【謝辞】

本研究は、JSPS 科研費（JP25KJ1918）の助成を受けて実施されました。

【論文情報】

掲載誌：Scientific Reports

タイトル：Sterilization Mechanism and Material Compatibility of Low-Pressure RF Water Plasma for Spacecraft Surface Decontamination

著者名：Kirara Yamanaka , Yoshihito Yagyu & Nobuya Hayashi

D O I : 10.1038/s41598-026-64078-7

【お問合せ先】

<研究に関すること>

九州大学 大学院総合理工学研究院 教授 林信哉

Mail : hayashi.nobuya.056@m.kyushu-u.ac.jp

<報道に関すること>

九州大学 広報課

TEL : 092-802-2130 FAX : 092-802-2139

Mail : koho@jimu.kyushu-u.ac.jp